Rev. Écol. Biol. Sol, 1975, **12** (1): 181-192

L'activité cellulolytique dans les sols de quelques stations de l'étage alpin du Pic du Midi de Bigorre (Hautes-Pyrénées)

PAR

Louis LABROUE et Georges LASCOMBES *

INTRODUCTION

Les sols de l'étage alpin des montagnes hygrothères sont généralement riches en matière organique et ce phénomène est logiquement attribué aux basses températures qui freinent la minéralisation. Cependant l'humus de ces sols est toujours de type moder ou mull-moder, avec un C/N bas, souvent de l'ordre de 10 (LABROUE, 1962 ; DUCHAUFOUR et GILOT, 1966 ; BOTTNER, 1971). Ce caractère semble indiquer que le ralentissement du cycle du carbone ne se situe pas au niveau de la décomposition des résidus végétaux frais, comme c'est le cas dans les mor ou les tourbes. Cela méritait d'être vérifié et il était intéressant de voir comment le fonctionnement de la microflore édaphique dans des stations très différentes aboutissait à ce résultat relativement homogène. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que le terme de « milieu alpin » recouvre une palette extrêmement large de conditions écologiques variant en fonction des sites et des saisons. Dans cet article nous relaterons les observations effectuées sur l'activité cellulolytique et l'évolution de la microflore responsable, dans les sols de huit stations caractéristiques, au cours de l'été 1972.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1° *Stations étudiées* : elles nous semblent représentatives des principales situations rencontrées dans *l'étage alpin*, c'est-à-dire dans la zone altitudinale où les formations herbacées constituent le climax climatique. Toutes ces stations sont

* Laboratoire d'Ecophysiologie, Université Paul Sabatier - Toulouse et Laboratoire de Haute-Montagne du Pic du Midi de Bigorre.

situées sur roche-mère calcaire et les variations observées dans les types de sol résultent de l'évolution pédogénétique.

Les quatre stations sélectionnées en versant Sud comprennent des pelouses de Graminées relativement puissantes, caractéristiques de l'étage alpin inférieur. Ce sont :

— Une station à *Avena montana* - *Potentilla nivalis* (Alt. 2 700 m - Exp. Sud) caractéristique des éboulis terreux.

— Une station à *Festuca scoparia* (Alt. 2 650 m - Exp. Sud-Est) localisée sur les versants Sud et qui représente un stade ultérieur, le sol demeurant encore pourvu de calcaire actif.

— Une station à *Festuca Eskia* - *Helianthemum Scopolii* (Alt. 2 650 m - Exp. Sud-Est) qui succède à la précédente lorsque la terre fine est décarbonatée, au moins en surface.

— Une station à *Festuca Eskia* - *Trifolium alpinum* (Alt. 2 700 m - Exp. Sud-Est) qui se rencontre sur sol acide, dans les zones à enneigement prolongé, mais fortement drainées.

Les stations choisies en versant Nord, bien que situées à une altitude voisine, présentent une végétation à base de Cyperacées basses ou de saules nains et la plupart des groupements végétaux que l'on y rencontre sont caractéristiques de l'alpin supérieur ; ces groupements se retrouvent cependant en versant Sud, mais à une altitude plus élevée. Nous avons étudié :

— Une station à *Elyna spicata* - *Oxytropis sp.* (Alt. 2 800 m - Exp. Nord) typique des aires convexes de versant Nord. Le sol est une rendzine alpine à terre fine souvent décarbonatée.

— Une station à *Carex curvula* - *Anthyllis vulnerarioïdes* (Alt. 2 750 m - Exp. Nord-Est) que l'on rencontre en conditions mésiques, sur sol brun calcaire alpin.

Les deux autres stations se situent dans des combes à neige :

— Une station à *Salix retusa* (Alt. 2 750 m - Exp. Nord-Est) sur éboulis humide (rendzine à pseudogley profond).

— Une station à *Plantago alpina* - *Carex pyrenaïca* (Alt. 2 750 m - Exp. Nord-Est) sur sol brun à stagnogley profond.

Les principales caractéristiques chimiques des sols étudiés figurent au Tableau I. Des données plus complètes, relatives à la flore, aux sols et à l'écologie de ces stations, se trouvent dans des articles antérieurs (LABROUE et LASCOMBES, 1970, 1972).

2° *Techniques d'études* : la cellulolyse « in situ » a été suivie en utilisant la technique de TRIBE (1961) qui consiste à enfouir dans le sol des feuillets de cellophane (Réf. P.T. 300). Nous avons découpé à l'emporte-pièce des rectangles (2 × 5 cm) que nous avons collés, après ébullition (WENT et DE JONG, 1966), sur des lames de verre porte-objet du modèle habituellement utilisé pour les observations microscopiques. Une cinquantaine de ces lames ont été placées verticalement dans chaque station, au voisinage de la surface (0-5 cm) et à diverses profondeurs (— 5 — 10 cm ou — 20 — 25 cm) après avoir ménagé leur emplacement à l'aide d'une lame de fer de même calibre. La mise en place des lames dans les horizons inférieurs et leur récupération présentent de nombreuses difficultés, en particulier dans les sols squelettiques, ce qui explique le nombre restreint des résultats obtenus en profondeur. Les prélèvements ont été effectués aux dates indiquées et la cellophane résiduelle a été dosée par colorimétrie à l'anthrone (SAXENA et al., 1961) après purification et hydrolyse.

TABLEAU I

Principales caractéristiques chimiques des sols étudiés

Stations / Données	pH	CO_3Ca %	S/T %	M.O. %	C/N	$\frac{C_{AF}}{C_{AH}}$	$\frac{C_{AF+AH}}{C\ total}$ %
Versant Sud							
Avena montana							
Ah_1 9 cm	7,2	7	sat.	10,8	12	0,6	32
Ah_2/C 14 cm	7,2	7	sat.	9,2	12	0,8	31
Festuca scoparia							
Ah_1 9 cm	7,6	4	sat.	8,1	12	1,2	20
Ah_2/C 20 cm	7,7	1	sat.	5,4	10	1,4	22
F. Eskia-Helianthemum							
Ao 7 cm	6,4	0	85	33,8	13	0,7	34
Ah 17 cm	7,6	4	sat.	5,9	13	2,8	23
B/C 15 cm	8,1	3	sat.	1,3	14	2,8	20
F. Eskia-Trifolium							
Ah_1 11 cm	4,8	0	27	14,9	10	1,3	27
Ah/B 21 cm	5,0	0	14	10,2	12	2,3	30
B/C 11 cm	5,1	0	18	4,5	11	2,3	20
Versant Nord							
Elyna-Oxytropis							
Ah_1 15 cm	6,9	0	sat.	18,5	10	0,7	26
Ah_2 17 cm	6,9	1	sat.	17,1	12	1,0	24
Ah_3/C 20 cm	7,4	1	sat.	5,6	12	1,5	23
Carex-Anthyllis							
Ah 11 cm	7,1	6	sat.	13,1	11	0,9	25
B 10 cm	7,7	7	sat.	3,4	10	1,8	20
B/C 15 cm	7,7	27	sat.	2,7	11	2,1	22
Salix retusa							
Ah 9 cm	7,5	31	sat.	10,1	10	1,4	17
B/C 26 cm	7,8	16	sat.	3,1	11	1,3	23
Pl. alpina-C. pyren.							
Ah_1 8 cm	5,8	0	61	17,1	11	0,9	29
Ah/B 16 cm	6,2	0	47	4,0	13	2,0	52
B 18 cm	6,4	0	47	2,7	14	2,8	43

S/T Taux de saturation de la capacite d'echange.
C_{AF} Carbone des acides fulviques.
C_{AH} Carbone des acides humiques.

L'utilisation de la cellophane, milieu artificiel dont l'hydrolyse ne nécessite pas l'intervention de l'enzyme C_1, est criticable puisqu'elle risque de donner une idée « optimiste » de l'activité cellulolytique. Elle reste cependant intéressante pour établir des comparaisons entre stations. Elle présente en outre l'avantage d'une récupération, d'un dosage et d'une observation microscopique des échantillons plus aisés que dans le cas du papier filtre.

La numération des micro-organismes cellulolytiques a été faite en milieux liquides selon les méthodes décrites dans le manuel de POCHON et TARDIEU (1963). Les milieux gélosés à la cellulose broyée, recommandés par CHARPENTIER (1968), ont été additionnés de rose bengale et de streptomycine pour la culture des Champignons ou de mycostatine pour la culture des Bactéries.

RÉSULTATS

1° L'activité cellulolytique « in situ » :

Les données de la figure 1 représentent les moyennes des dosages de 5 échantillons prélevés en surface, accompagnées de l'intervalle de confiance ($p = 0{,}05$), tandis qu'en profondeur les valeurs de deux échantillons donnent une idée, généralement satisfaisante, de la cellulolyse à ce niveau. On observe une forte dispersion des valeurs dans la formation dont les gradins sont les plus marqués et les touffes les plus grosses (station à *Festuca Eskia - Helianthemum*), en raison d'une micro-hétérogénéité importante du sol.

Il apparaît nettement que la dégradation de la cellophane varie considérablement en fonction de l'exposition d'une part, de la profondeur d'autre part. En surface, la cellulolyse est environ deux fois plus active en versant Sud qu'en versant Nord, mais la différence est encore plus nette si l'on considère les horizons inférieurs. En effet, l'activité cellulolytique est insignifiante en profondeur dans tous les sols de versant Nord, alors qu'elle reste élevée à ce niveau en versant Sud, où elle est parfois supérieure à celle que l'on enregistre en surface (cas des deux stations les plus sèches, à *Avena montana* et à *Festuca scoparia*). L'observation des lames enfouies, prélevées au bout de 2 à 4 semaines, montre un envahissement extensif de mycelium avec quelques colonies bactériennes localisées, essentiellement des *Cellvibrio* et des Actinomycètes du genre *Streptomyces*.

Les Champignons sont surtout représentés par le genre *Fusarium* et par des Mucorales (genre *Mucor* et autre genre voisin mais indéterminé).

2° Évaluation de la microflore cellulolytique :

Les résultats des numérations de la microflore cellulolytique bactérienne ou fongique, sont exprimés soit en fonction du poids de terre sèche (Tableau II), soit en fonction du poids de carbone organique (Fig. 2). Quel que soit le mode d'expression ou la classe d'organismes considérés, il est évident que la microflore cellulolytique est partout bien représentée, exception faite des bactéries anaérobies. Ces dernières n'atteignent jamais un niveau très élevé, ce qui est fréquent dans les sols normaux (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970). Il est vrai que l'anaérobiose est, dans nos sols, surtout associée à des fontes nivales et par conséquent à de basses températures peu

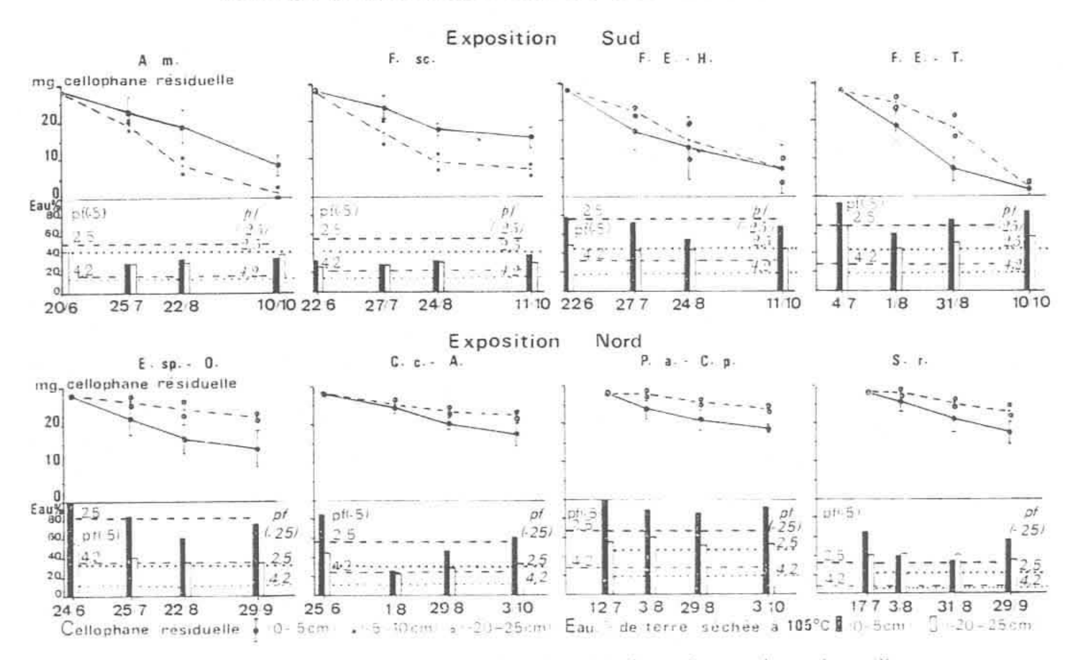


FIG. 1. — Dégradation de la cellophane et humidité des sols aux dates de prélèvement.

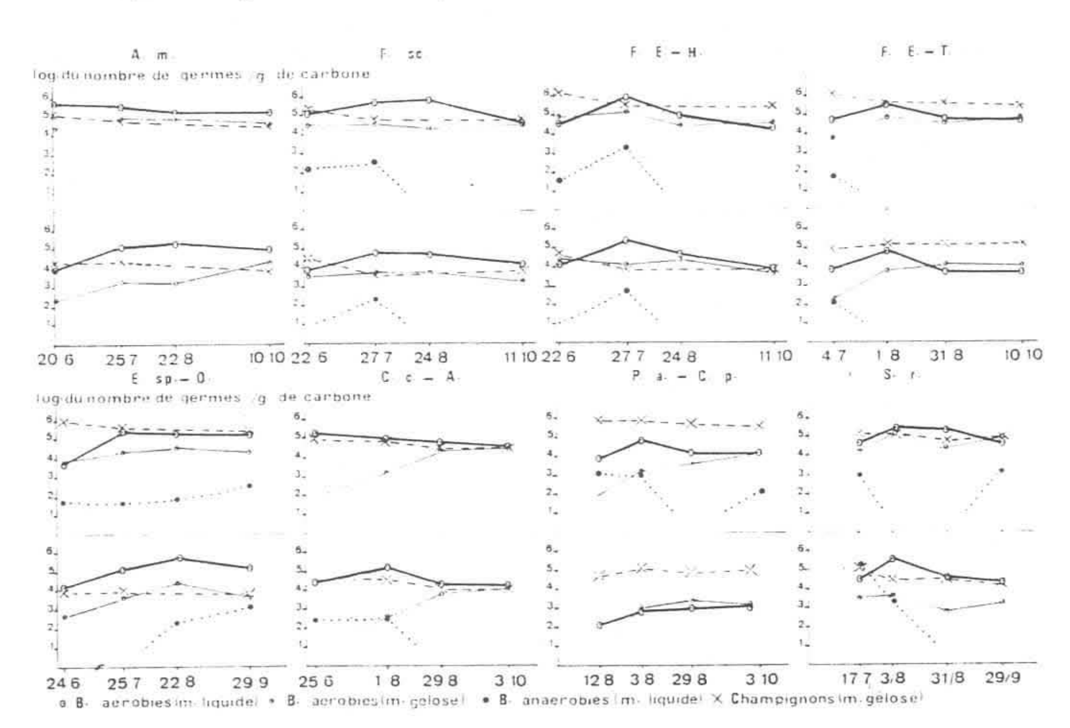


FIG. 2. — Évolution saisonnière du nombre de microorganismes cellulolytiques, exprimé en fonction du gramme de carbone organique (Été 1972).

TABLEAU II

Numération des microorganismes cellulolytiques au cours de l'Été 1972 (résultats exprimés en nombre de germes par gramme de terre séchée à 105° C)

Avena montana										
Horizons			—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm
B. aero.	m. gélosé	10^2	17	0,1	51	1,0	64	0,8	33	12,6
B. aero.	m. liquide	10^3	34	0,64	20	5,9	14	12	13	6,3
B. anaer.	m. liquide	10^1	0	0	0	0	0	0	0	0
Champ.	m. gélosé	10^3	9,0	0,97	5,3	1,03	—	—	3,3	0,66
Festuca scoparia										
Horizons			—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm
B. aero.	m. gélosé	10^2	50	1,6	43	3,0	20	3,3	70	1,6
B. aero.	m. liquide	10^3	12	0,31	57	3,2	59	3,3	6,2	1,2
B. anaer.	m. liquide	10^1	2,0	0	3,2	1,1	0	0	0	0
Champ.	m. gélosé	10^3	12,8	1,22	6,1	0,23	—	—	7,0	0,69
F. Eskia-Helianth.										
Horizons			—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm
B. aero.	m. gélosé	10^2	170	16,0	310	6,0	50	17,6	88	3,6
B. aero.	m. liquide	10^3	7,9	0,66	160	13	16	3,7	1,2	0,65
B. anaer.	m. liquide	10^1	0,8	0	43,0	3,6	0	0	0	0
Champ.	m. gélosé	10^3	255	25,4	68	1,1	—	—	71	6,8
F. Eskia-Trifolium										
Horizons			—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm
B. aero.	m. gélosé	10^2	6	0,1	86	3,6	54	7,9	101	8,3
B. aero.	m. liquide	10^3	4,8	0,42	40	3,6	7,9	0,37	8,2	3,9
B. anaer.	m. liquide	10^1	0,8	0,7	0	0	0	0	0	0
Champ.	m. gélosé	10^3	109	5,2	61	8,6	61	8,0	38	10,0
Elyna-Oxytropis										
Horizons			—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm
B. aero.	m. gélosé	10^2	13	0,3	43	2,7	72	12,0	31	2,2
B. aero.	m. liquide	10^3	1,0	0,70	46	6,3	40	34	16	6,1
B. anaer.	m. liquide	10^1	1,0	0	0,7	0	1,5	1,2	4,3	6,1
Champ.	m. gélosé	10^3	14,8	0,52	7,2	0,53	—	—	5,0	0,28
C. Curvula-Anthyllis										
Horizons			—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm
B. aero.	m. gélosé	10^2	0	0	2	0,1	22	1,7	42	5,8
B. aero.	m. liquide	10^3	17	0,60	12	4,3	6,6	0,58	4,0	0,59
B. anaer.	m. liquide	10^1	0	0,6	0	0,7	0	0	0	0
Champ.	m. gélosé	10^3	7,5	—	10,0	0,86	3,2	0,27	3,8	0,37
Pl. alpina-C. pyren.										
Horizons			—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm
B. aero.	m. gélosé	10^2	0	0	2	0,5	50	1,8	136	1,0
B. aero.	m. liquide	10^3	1,1	0,01	8,5	0,04	1,8	0,07	1,8	0,07
B. anaer.	m. liquide	10^1	14,2	0	11,3	0	0	0	1,7	0
Champ.	m. gélosé	10^3	101	2,3	96	6,8	63	5,7	53	5,2
Salix retusa										
Horizons			—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm	—5 cm	—25 cm
B. aero.	m. gélosé	10^2	13	0,6	57	0,7	11	0,1	72	0,7
B. aero.	m. liquide	10^3	4,1	0,63	13	6,4	13	0,63	3,9	0,61
B. anaer.	m. liquide	10^1	7,4	352	0	3,5	0	0	9,5	0
Champ.	m. gélosé	10^3	12,0	2,50	5,6	0,50	3,2	0,54	7,3	0,70

favorables à ces bactéries. Dans ces conditions (anaérobiose, basses températures), les bactéries aérobies, dénombrées en milieu liquide, présentent un minimum au printemps. Ce minimum est suivi d'un maximum fin juillet auquel succède une décroissance plus ou moins rapide à la fin de l'été. Les bactéries responsables de la lyse du papier sont, aux dilutions les plus fortes, des *Cellvibrio* ; aux dilutions inférieures apparaissent des *Sporocytophaga* et d'autres Myxobactéries (*Myxococcus* et Angiococcales à déterminer). Les numérations en milieu gélosé concordent assez mal avec les résultats obtenus en milieu liquide. Manifestement, il n'apparaît sur ce milieu qu'une fraction de la microflore cellulolytique totale, fraction qui devient prédominante au cours de l'été, dans certaines stations.

Les champignons cellulolytiques présentent un maximum à la fonte des neiges, ce qui est en accord avec les numérations de mycoflore totale antérieurement effectuées. Mais ce maximum est ici moins marqué que dans les numérations sur milieu glucosé. Enfin les champignons semblent plus nombreux dans les horizons décarbonatés : horizons supérieurs des stations à *Festuca Eskia - Helianthemum*, à *Elyna*, profils entiers dans les stations à *Festuca Eskia - Trifolium*, à *Plantago alpina*. Les genres * observés sur le milieu gélosé à la cellulose broyée sont plus variés que sur cellophane. Le genre *Fusarium* et les *Mucor* sont toujours dominants, mais l'on observe aussi des *Penicillium*, des *Cladosporium*, *Gliocladium*, *Stachybotrys*, *Pillularia* ainsi que de nombreux genres indéterminés, en particulier des Tuberculariacées et des Dématiées.

DISCUSSION

La comparaison de nos résultats avec ceux de WENT et DE JONG (1966), obtenus d'une manière analogue sur des humus forestiers, est d'un intérêt certain. Elle montre qu'en dépit de l'altitude, la cellulolyse est, en versant Sud, du même ordre de grandeur que celle du mull tandis qu'en versant Nord, la faible activité observée se rapproche de celle que présente le mor aux moments les plus favorables (soit 35 semaines pour une hydrolyse complète). Elle est de toute manière suffisante pour dégrader la faible quantité de matière produite par ces pelouses rases, puisque l'on n'observe pas la formation d'horizons A_0 importants, ce qui n'est pas toujours le cas en versant Sud.

Les conditions microclimatiques et physico-chimiques des sols de ces stations étant assez bien connues (LABROUE et LASCOMBES, 1970, 1971, 1972) il est intéressant de voir quels sont les facteurs susceptibles d'avoir la plus grande influence sur l'activité cellulolytique de ces sols.

1° Influence de l'humidité et du potentiel d'oxydo-réduction :

Il est probable qu'en période de sécheresse, l'humidité (Fig. 1) devient le facteur limitant dans les horizons supérieurs des stations sèches de versant

* Déterminations en cours, effectuées par Jacques DARDENNE, Laboratoire de Cryptogamie - Université Paul Sabatier - 31 Toulouse.

Sud (Station à *Avena montana* et station à *Festuca scoparia*) dont les sols squelettiques atteignent alors le point de fanaison, par suite d'une faible réserve hydrique et d'un freinage de l'ascension capillaire. Dans ces stations, la cellulolyse se montre plus active en profondeur où la sécheresse est moins poussée tandis que la température reste élevée.

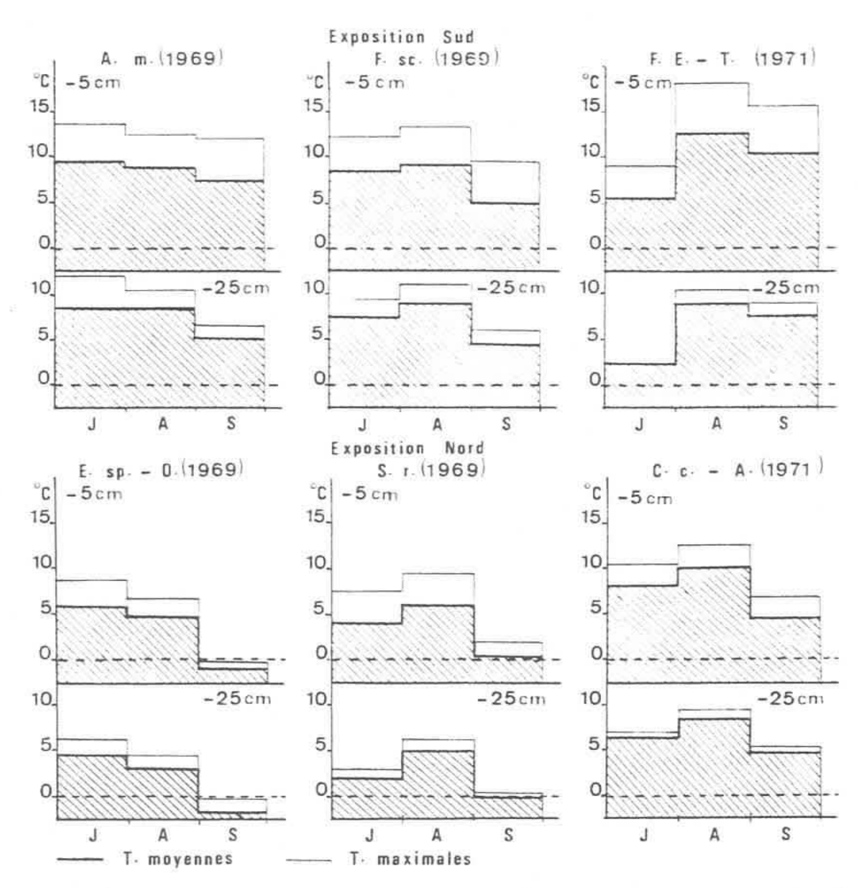


FIG. 3. — Évolution des températures moyennes mensuelles dans les sols, au cours de l'Été.

En versant Nord, par contre, le déficit hydrique se manifeste rarement. La chose s'observe cependant en juillet dans la station à *Carex curvula*. Comme, à cette époque, la station bénéficie d'un ensoleillement important (Fig. 3), il en résulte une dessiccation qui explique probablement la faiblesse de la cellulolyse au cours de ce mois. Il semble donc que la teneur en eau du sol puisse avoir une certaine influence sur la cellulolyse mais c'est une influence secondaire puisque, même dans les stations sèches de versant Sud, le phénomène est toujours plus actif qu'en versant Nord. Rappelons que dans les sols forestiers étudiés par WENT et DE JONG (1966), la décomposition de la cellophane dépendait surtout de la teneur en eau. Par contre l'anaérobiose

consécutive à la fonte des neiges est un facteur défavorable qui freine, en juillet, la cellulolyse dans les horizons profonds des combes à neige, même en versant Sud (station à *Festuca Eskia - Trifolium*).

2° Influence de la température :

La différence d'activité cellulolytique observée entre les deux versants s'explique aisément par l'évolution des températures dans les divers horizons (fig. 3). Il semble qu'il existe un seuil thermique en deça duquel la cellulolyse devient insignifiante. En particulier, les résultats obtenus dans les horizons profonds des versants Nord s'accordent assez mal avec les observations faites en laboratoire par WENT et DE JONG qui enregistrent une activité encore notable des *Fusarium* à + 5° C. Ce point sera vérifié par les incubations à températures contrôlées que nous nous proposons de faire. La température apparaît donc comme le facteur déterminant de l'activité cellulolytique dans nos sols.

3° Influence du pH :

Le pH et l'état de saturation du complexe absorbant ne semblent pas avoir beaucoup d'influence sur la cellulolyse.

L'activité la plus intense se manifeste dans le sol de la station à fétuque et trèfle, de loin le plus acide et dans lequel on peut doser des quantités appréciables d'Aluminium échangeable (100 ppm). On rejoint là les conclusions de WENT et DE JONG (1966). En présence d'un matériel d'origine herbacée relativement homogène, ce résultat s'explique assez bien si l'on attribue aux Champignons, généralment acido-tolérants, le rôle essentiel dans la dégradation. Cependant, même dans ce sol podzolique, les Bactéries sont bien représentées, en liaison, sans doute, avec la nature favorable des débris végétaux (voir *infra*).

4° Influence de l'azote :

Si l'on observe une certaine disparité dans la qualité des résidus apportés par les différentes espèces dominantes, il ne semble pas que cela ait une grande importance. En effet, l'activité cellulolytique se manifeste aussi faiblement dans la station à Plantain alpin (C/N des feuilles = 21, des racines = 36) que dans la station à Laiche courbée (C/N des feuilles = 69, des racines = 67). Par ailleurs, les teneurs en azote minéral sont toujours plus élevées dans les sols de versant Sud, notamment en profondeur (LABROUE et LASCOMBES, 1971). Il en est de même des acides aminés libres, présents dans la solution du sol (résultats non publiés). Il est cependant difficile d'utiliser ces données qui ne représentent qu'un excès. C'est ainsi que l'activité cellulolytique est relativement intense, pour le versant Nord, dans la station à Saules nains, alors que les teneurs en azote minéral y sont parmi les plus faibles.

5° Influence de la végétation :

La végétation des stations sélectionnées en versant Nord est caractérisée par un enracinement dense mais superficiel. De ce fait, les horizons infé-

rieurs ne bénéficient pas du « priming effect » renouvelé qu'entretient l'effet rhizosphère (P. LOSSAINT, communication personnelle). Inversement l'enracinement des Graminées de versant Sud est beaucoup plus profond et contribue sans doute à alimenter une population plus nombreuse et plus active dans ces horizons.

6° **Influence de la microflore :**

L'importance de la microflore cellulolytique n'apparait pas comme étant un facteur susceptible d'expliquer les différences observées entre les versants ou les stations. Seule l'amplitude de l'évolution saisonnière permet de caractériser grossièrement les stations. Les variations sont plus fortes et plus rapides dans les stations à enneigement prolongé où la saison végétale se réduit à quelques semaines.

Du point de vue systématique et dans l'état actuel de nos déterminations, il est intéressant de noter que ni le genre *Trichoderma* ni le genre *Chaetomium* n'ont été isolés dans la mycoflore cellulolytique. Ces genres ont pourtant été fréquemment cités dans les sols forestiers (WENT et DE JONG, 1966 ; KIFFER et MANGENOT, 1968) et même dans les sols alpins (MOSCA, 1957) ou subalpins (GAMS et MOREAU, 1961). Le spectre mycologique de nos sols ressemble assez à celui que WENT et DE JONG ont rencontré dans les vergers. Eubactéries et Myxobactéries sont partout bien représentées et finalement, il parait bien difficile de retrouver des analogies avec la répartition latitudinale établie par MISHOUTINE (1968).

CONCLUSION

Dans les sols alpins étudiés, l'activité cellulolytique, estimée par la dégradation des feuillets de cellophane enfouis, est essentiellement sous la dépendance de la température du sol. Elle est, en effet, beaucoup plus active en versant Sud qu'en versant Nord, et en surface qu'en profondeur, du moins quand la sécheresse n'intervient pas. Celle-ci peut entraîner un net fléchissement de la cellulolyse dans les horizons supérieurs, en particulier dans les sols squelettiques de versant Sud. Le piège cellulosique enfoui dans le sol est rapidement envahi par une microflore essentiellement fongique où dominent le genre *Fusarium* et des Mucorales. Les Bactéries « *sensu lato* » sont aussi présentes et les numérations révèlent leur abondance dans tous les profils. Le rôle primordial joué par les Champignons explique sans doute la faible influence que semble avoir le chimisme des sols. De ce fait, et en dépit de certaines variations dans la qualité des débris herbacés des diverses formations, l'activité cellulolytique n'est qu'un reflet grossier de la diversité des conditions stationnelles. C'est ainsi que l'on peut grouper ensemble les stations de versant Nord, où la cellulolyse reste faible en surface et quasi nulle en profondeur. Une différenciation plus poussée est possible en versant Sud où les conditions écologiques sont plus contrastées. On peut ainsi caractériser :

— les stations sèches où la cellulolyse, forte en profondeur, est freinée en surface lors des périodes de sécheresse ;

— les stations mésophiles où la cellulolyse est à peu près aussi active à tous niveaux ;
— les stations de combes à neige où la cellulolyse, très intense en surface, est longuement freinée en profondeur par l'anaérobiose consécutive à la fonte des neiges.

Il est difficile de relier ces observations aux types d'humus, assez peu différenciés, que l'on rencontre dans nos sols. D'autres facteurs, tels que la productivité des pelouses, la maturation des acides humiques formés, la teneur en argile (BOTTNER, 1971) et peut-être l'excrétion de cellulase (BONISH, 1973) viennent modifier et probablement effacer les différences observées dans la dégradation de la cellophane.

RÉSUMÉ

L'activité cellulolytique a été étudiée dans les sols de huit stations caractéristiques de l'étage alpin du Pic du Midi de Bigorre. Des feuillet calibrés de cellophane, enfouis en surface et en profondeur, ont été prélevés tout au long de la saison végétative et leur dégradation appréciée par dosage de la cellophane résiduelle. Une détermination sommaire des agents microbiens responsables de l'attaque « in situ » a été menée parallèlement, ainsi que des numérations de germes sur divers milieux sélectifs. Les résultats de ces expériences montrent que la dégradation de la cellophane est essentiellement conditionnée par la température du sol. Très rapide à tous les niveaux dans les stations de versant Sud, elle est beaucoup plus lente aux expositions Nord où elle s'annule presque en profondeur. Des périodes de sécheresse peuvent freiner la cellulolyse dans les horizons supérieurs des sols squelettiques, en particulier en versant Sud. Par contre, l'acidité et le statut ionique du complexe absorbant des sols ne semblent avoir qu'un rôle mineur. Ce dernier phénomène est probablement lié au rôle primordial joué par la microflore fongique (genre *Fusarium* en particulier) réputée acido-tolérante. Cependant, Bactéries et Myxobactéries sont partout abondantes.

Les variations de l'activité cellulolytique ne peuvent aider à caractériser les stations que d'une manière assez grossière, en particulier en versant Nord où cette activité est uniformément faible.

SUMMARY

The process of cellulose decomposition was investigated in soils of eight characteristic stations of the alpine zone of « Pic du Midi de Bigorre ». Calibrated cellophane sheets, buried in the surface layer and lower down in the soil, were recovered at intervals during the vegetative season and their decay estimated by chemical determination of residual cellophane. At the same time rough identification of microbial agents responsible of cellulose breakdown « in situ » was carried out as the enumeration of germs on various selective media.

Results showed that the rate of cellophane decomposition was essentially depending on soil temperature. Very high at any depth in the soils of south faced stations, it becomes much lower in north faced sites where it falls near zero in the depth.

Dry periods may hinder cellulose breakdown in the top layer of skeletal soils, mostly in south faced slopes. On the other hand, acidity and ionic status of the exchange complex of soils seem to play a minor rôle. This last phenomenon is probably related to the known acid tolerance of the fungi (mainly *Fusarium genera*) which are chiefly responsible of cellulose breakdown.

Changes in cellulose decomposition rate are of minor help in characterizing the stations, especially on North faced slopes where the activity is evenly low.

Bibliographie

Bonish (P. M.), 1973. — Cellulase in red clover exudates. *Plant and Soil*, **38** (2): 307-314.

Bottner (P.), 1971. — La pédogenèse sur roches-mères calcaires dans une séquence bioclimatique méditerranéo-alpine du Sud de la France. Thèse Fac. des Sciences Montpellier, 271 p.

Charpentier (M.), 1968. — Dégradation de la cellulose dans le sol. Mécanismes enzymatiques. Rapport général. *Ann. Inst. Pasteur*, **115** (4): 497-537.

Dommergues (Y.) et Mangenot (F.), 1970. — Écologie microbienne du sol. Masson Édit. Paris, 796 p.

Duchaufour (Ph.) et Gilot (J.-C.), 1966. — Étude d'une chaine de sols de l'étage alpin (Col du Galibier) et de ses relations avec la végétation. *Oec. Plant.*, **1** (3): 253-274.

Gams (W.) et Moreau (R.), 1961. — Etude microbiologique de quelques humus alpins provenant du Chablais, du Foncigny et du massif du Mont-Blanc. Travaux du Lab. de « la Jaysinia ». Publ. du Mus. nat. Hist. nat. : 49-55.

Kiffer (E.) et Mangenot (F.), 1968. — Activités cellulolytiques de quelques sols forestiers. *Ann. Inst. Pasteur*, **115** (4): 582-595.

Labroue (L.), 1962. — Végétation et sols au sommet du Pic du Midi de Bigorre (essai d'écologie alpine). Thèse 3e cycle. Fac. Sciences, Toulouse, 91 p.

Labroue (L.) et Lascombes (G.), 1970. — L'évolution de la végétation et des sols au Pic du Midi de Bigorre. L'étage alpin inférieur en versant Sud. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, **106** (1-2) : 156-169.

Labroue (L.) et Lascombes (G.), 1971. — Minéralisation de l'azote organique dans les sols alpins du Pic du Midi de Bigorre. *Oec. Plant.*, **6** (3) : 247-270.

Labroue (L.) et Lascombes (G.), 1972. — L'évolution de la végétation et des sols au Pic du Midi de Bigorre. L'étage alpin supérieur. *Bull. Soc. Hist. Nat. de Toulouse*, **108** (1-2): 9-37.

Mishoutine (E.), 1968. — Microorganismes cellulolytiques des sols de l'U.R.S.S. *Ann. Inst. Pasteur*, **115** (4): 596-603.

Mosca (A. M.), 1957. — Richerche sulla microflora del terreno di una valleta nivale nel Parco Nazionale del Gran Paradiso. *Alliona*, **3** (2): 83-107.

Pochon (J.) et Tardieux (P.), 1962. — Techniques d'analyse en microbiologie du sol. Édit. de la Tourelle, Saint-Mandé, Seine, 112 p.

Saxena (K. K.), Mukherjee (R.) et Mahadevan (V.), 1961. — A new micromethod for the estimation of cellulose in biological materials using anthrone reaction. *J. Sc. Industr. Res. (India)*, **21** (6): 186-188.

Tribe (H. T.), 1961. — Microbiology of cellulose decomposition in soil. *Soil Science*, 92 (1): 61-77.

Went (J. C.) et de Jong (F.), 1966. — Decomposition of cellulose in soils. *Antonie van Leuwenhoek*, **32**: 39-56.